



УДК 378:537:53.06:538.9

FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF FUNDAMENTAL RESEARCH INTO THE EDUCATIONAL PROCESS IN A HIGHER SCHOOL**ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС У ВИЩІЙ ШКОЛІ****Tatarchuk T.V. / Татарчук Т.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-6408-0463

SPIN: 9539-7370

*Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063
Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063***Bondar N.P. / Бондарь Н.П.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0009-0007-3151-6367

*Dniprovsk State Technical University,**Kamyanske, Dnipropetrovsk region, Dnirobudivska, 2, 51918**Дніпровський державний технічний університет,**Кам'янське, Дніпропетровська область, Дніробудівська, 2, 51918***Zasovenko A. V. / Засовенко А. В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

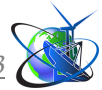
ORCID: 0000-0003-1012-6742

*Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063
Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063*

Анотація. У статті розглядається можливість впровадження результатів фундаментальних досліджень у галузі матеріалознавства та магнетизму у навчальний процес з фізики у вищих навчальних закладах під час підготовки майбутніх інженерів. Як приклад, наводиться теоретична лабораторна робота «Спосіб отримання постійних магнітів». Відмінності даної лабораторної роботи від традиційних: змінено структуру мети роботи – введено "мета для викладача" та "мета для студента", щоб обидві сторони чітко розуміли цілі роботи та очікувані результати, запроваджено новий структурний елемент – "Міжпредметні зв'язки", який демонструє зв'язок між фізичною компонентою роботи та спеціальними предметами, на відміну від традиційних лабораторних робіт, студенти не проводять експеримент самостійно; натомість вони аналізують результати досліджень, виконаних провідними фахівцями у цій галузі, таким чином формуються предметна та міжпредметна компетенція.

В результаті дана теоретична лабораторна робота сприятиме формуванню знання для конкретної спеціальності, наприклад, для майбутніх ливарників – способи виготовлення постійних магнітів методом лиття, для майбутніх матеріалознавців – залежність фізичних властивостей від способу виготовлення постійних магнітів, для майбутніх електриків – сфери використання постійних магнітів у залежності від способу виготовлення та фізичних властивостей. Надалі планується створення навчально-методичного комплексу з фізики, який органічно був би пов'язаний із конкретною професійною підготовкою.

Ключові слова: фундаментальне дослідження, постійний магніт, теоретична лабораторна робота, традиційна лабораторна робота



Вступ.

У дидактиці викладання фізики у вищій школі як навчального предмета окрім лекційного курсу велика увага приділяється практичній частині навчального процесу. Даній проблемі присвячено роботи як вітчизняних так і зарубіжних авторів [1,2]. При виконанні лабораторних робіт формуються експериментальні уміння та навички по дослідженню, установленню, підтвердженню фізичних знань.

На наш погляд на даний момент запропоновано багато традиційних лабораторних робіт для підтвердження відкриттів вчених минулого, але майже не відображаються результати сучасних фундаментальних досліджень. На даний момент є багато накопичених результатів сучасних досліджень галузі матеріалознавства та металознавства відомих вітчизняних та зарубіжних вчених: Мирошніченко І.С., Sagawa Masato, Брехаря Г.П., Виставкіна В.В., Гуляєва Т.В., Бовда В.О. та інші [3-10], які доцільно впровадити у навчально-виховний процес з фізики. Для якісної підготовки фахівців зі спеціальностей: 132 – «Матеріалознавство», освітні програми: «Прикладне матеріалознавство», «Термічна обробка металів», «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»; 136 – «Металургія», освітні програми: «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів»; 131 – «Прикладна механіка», освітні програми: «Обладнання та технології ливарного виробництва», 141 – «Електроенергетика. Електротехніка та електромеханіка» «Електротехнічні системи електроспоживання», освітні програми: «Енергетичний менеджмент», «Електричні машини і апарати», «Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв», «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» – вважаємо доцільним впроваджувати у навчально-виховний процес як практичні, так і теоретичні лабораторні роботи, які б підкріплювали зміст сучасних наукових досліджень в названих галузях освіти.

Головною відмінністю між традиційними та теоретичними лабораторними роботами: на даний момент є велика кількість запропонованих інструкцій щодо виконання традиційних лабораторних робіт, які були створені викладачами різних ВНЗ, а щодо виконання нових лабораторних робіт, що базуються на сучасних фундаментальних дослідженнях (матеріали науково-практичних конференцій, наукових видань, захищених дисертацій), інструкцій немає. Тому бажано, щоб сучасні результати досліджень були адаптовані для навчально-виховного процесу під конкретну спеціальність.

Таким чином, мета статті полягає у виділенні фізичної компоненти сучасних фундаментальних досліджень при проведенні теоретичних лабораторних робіт для студентів I-II курсу ВНЗ.

Основний текст.

Раніше вводилося поняття "варіативної лабораторної роботи" для старшої школи [18, 19]. Там пропонувалися різні способи визначення фізичних величин. Нажаль, зараз не завжди є можливість для студентів провести експеримент самостійно, особливо при вивченні фундаментальних досліджень. Тому виходом із ситуації може бути створення теоретичних лабораторних робіт.



Як приклад такої теоретичної роботи пропонується лабораторна робота «Методи отримання постійних магнітів». Пропонуємо проведення теоретичної лабораторної роботи для з'ясування фізичної складової фундаментальних досліджень щодо понять: «метод лиття», «метод порошкової металургії», «спіннінгування з розплаву», «спікання під тиском», «додатковий термічний тиск».

Методичні особливості даної роботи:

1. Змінена структура мети роботи – введено «мета для викладача» та «мета для студента». Це необхідно для того, щоб і викладач, і студент чітко розуміли, для чого виконується дана робота та яких результатів необхідно досягти.

2. Введено такий структурний елемент, як «Міжпредметні зв'язки». За допомогою даного пункту показується зв'язок між фізичним компонентом даної роботи та спецпредметами.

3. На відміну від традиційних лабораторних робіт, студенти самі безпосередньо експеримент не проводять.

4. На основі дослідження, виконаного провідними фахівцями [4-7] в даній галузі, аналізують результати експерименту. Таким чином формуються предметна та міжпредметна компетенція.

Лабораторна робота «Методи отримання постійних магнітів»

Мета для викладача:

- ознайомити студентів з основними методами отримання високоенергетичних постійних магнітів;
- сформувані у студентів поняття «метод лиття», «метод порошкової металургії», «спіннінгування з розплаву», «спікання під тиском», «додатковий термічний тиск»;
- навчити студентів аналізувати представлений теоретичний матеріал, виділяти у ньому головне.

Мета для студента:

- навчитись аналізувати матеріал та використовувати його на практиці;
- ознайомитись з основними методами отримання високоенергетичних постійних магнітів.

Міжпредметні зв'язки.

Перелік дисциплін, на які студент безпосередньо спирається при виконанні даної лабораторної роботи	Перелік дисциплін, при вивченні яких студент безпосередньо спирається на знання, отримані при виконанні даної лабораторної роботи
Елементарна та загальна фізика (тема: Магнітне поле у речовині) Елементарна та вища математика	Матеріалознавство Металознавство та термічна обробка Методи отримання матеріалів з заданими властивостями Матеріали з особливими властивостями

Завдання:

1. Написати розгорнутий план до наданого теоретичного матеріалу.
2. Розрахувати вартість витраченої електроенергії.
3. Розрахувати силу, з якою пуансон діють на зразок при термообробці.



4. Розрахувати лінійне видовження зразків.

Теоретичні відомості.

На сьогодні існує кілька методів виготовлення постійних магнітів. Найбільш поширеними є метод порошкової металургії та лиття. Більш новим методом виготовлення постійних магнітів є спікання швидко охолоджених плівок під тиском. Далі буде представлено декілька способів отримання постійних магнітів.

Метод лиття [5, 16]. Для отримання зливок досліджуваних сплавів складові елементи чистотою 99,99% розплавляють в індукційній печі у захисній атмосфері для запобігання окислення неодиму (атмосфері аргону). Температура виплавки – 1923 К; зливки сферичної форми ($D = 20$ мм, $h = 10$ мм) отримують литтям розплаву у мідні водоохолоджувані форми.

Метод порошкової металургії [11, 17]. Високочисті елементи сплавлялися в індукційній печі УППФ – 3М у захисній атмосфері аргону для виготовлення вихідного сплаву $Fe_{76}Nd_{16}B_8$ (початкові компоненти: Nd - 99.8; Fe – ЖР 008; феробор – ФБ – 20). Вихідний сплав подрібнюють на щоккових дробівках (0,5 мм). Мокрий помел у вібротліні, у захисному (C_2H_5OH) середовищі до отримання порошку з мікронним розміром частинок ($\approx 5 \div 10$ мкм). Сушка порошку відбувається вакуумуванням. Легування – шляхом змішування порошків. Пресування порошку – в зовнішньому орієнтованому полі ($H \geq 800$ кА/м) у контейнерах, виготовлених з урахуванням коефіцієнту спікання.

Спечені магніти виготовлялись спіканням орієнтованих у магнітному полі компактів у вакуумі (10^{-4} мм. рт. ст) при $1100^\circ C$ протягом 1 год. Після спікання застосовували термообробку при температурі $850^\circ C$ протягом 1 год та при температурі $530^\circ C$ протягом 1 год., а потім – фінальне намагнічування зразків.

Метод загартування з рідкого стану (метод спінінгування з наступним подрібненням стрічок-лусок) [3, 4, 12]. Метод надшвидкого охолодження розплаву (спінінгування) є перспективною технологією виробництва порошків сплавів Nd-Fe-B. У роботі були виготовлені магнітопласти на основі системи Nd-Fe-B, леговані вуглецем, міддю, титаном у виді порошку, які відрізнялися термообробкою та вмістом вуглецю, міді, титану. Для моделювання складних процесів, які відбуваються під час надшвидкого охолодження матеріалів, і як наслідок, утворення метастабільних, аморфних та дрібнокристалічних станів, було використано надшвидке гартування за методом спінінгування розплаву. Ця методика була втілена за допомогою установки „Лента-3” (ННЦ «ХФТІ», м. Харків).

Вакуумна установка надшвидкого гартування „Лента-3” складається з плавильної камери об'ємом 5 дм³, в якій розташована дугова піч з мідним кристалізатором який має водяне охолодження і виливним пристроєм, гартувальною камерою з мідним барабаном (діаметр 500 мм, завширшки 40 мм) і пристроєм регулювання обертів, який дозволяє ободу колеса обертатися з лінійною швидкістю від 0 до 40 м/с, а також системи регулювання подачі інертного газу в плавильну камеру у діапазоні тисків від 0 до 6×10^5 Па та приймальної камери для збору загартованого матеріалу. Розплавлений матеріал



виливається на барабан і загартовується у вигляді стрічок або лусочок. Схема установки „Лента-3” наведена на рис. 1.

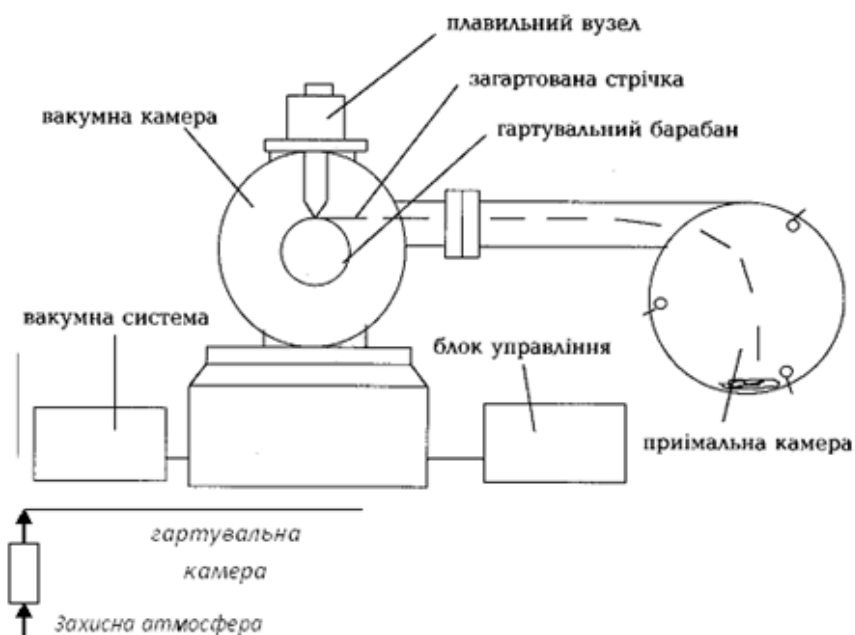


Рис. 1. Схема установки „Лента-3”

Для виготовлення вихідного сплаву використовують дугову плавку у середовищі аргону (навіски 20 гр). Контроль зливків здійснюють шляхом зважування. Потім відбувається переплав у кварцовому тиглі. Розплав подається крізь невелике сопло на охолоджену поверхню, яка обертається. Тиск над розплавом витримують 0,6 атм., лінійна швидкість обертання мідного барабану складає 20 м/с. При цьому утворюються тонкі луски розплаву. Швидкість загартування матеріалу можна змінювати змінюючи лінійну швидкість поверхні загартування. Вибір визначеної швидкості загартування забезпечує отримання високої коерцитивності і залишкової намагніченості. Одержані стрічки і лусочки відпалюють у вакуумі при температурі 500°C.

Виготовлення спечених компактів та магнітопластів [6, 11, 15]. Для отримання спечених компактів швидко загартовані стрічки розміщували у розроблену та апробовану прес-форму (рис. 2).

Прес-форму виготовляли з нержавіючої сталі 12X18H10T. Для запобігання припикання стрічок до поверхні прес-форми в процесі спікання її стінки ізолювались за допомогою слюди. Точність вимірювання маси стрічок на вагах AXIS A500 складала $\pm 0,01$ г. В залежності від умов спікання, прес-форма разом із стрічками зазнавала короткочасне навантаження певної величини (табл. 1,2).

Після навантаження прес-форма скріплювалась таким чином, що стрічки знаходились у напруженому стані. Пресування відбувалось на Litostroj HVC-2-16. Матеріал прес-форми та болтів підбиралися таким чином, щоб під час нагрівання створювався додатковий тиск. Після витримки при заданій температурі прес-форма охолоджувалась разом із піччю у вакуумі. В



залежності від умов спікання компакти мали різні механічні властивості (твердість, крихкість, наявність пор).

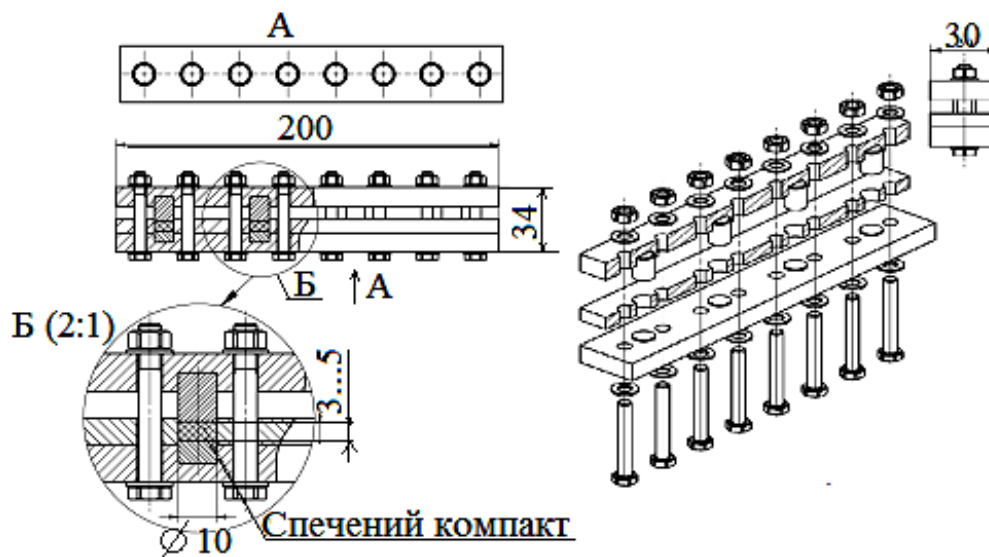


Рис.2. Схема прес-форми

Таблиця 1. Режими спікання та відпалу сплаву $Nd_{20}Fe_{70-x}C_{9,5}V_{0,5}Cu_x$.

Температура спікання, К	Ступінь вакууму, МПа	Час спікання, год	Час відпалу, год	Початковий тиск, МПа			Температура відпалу, К
				0,5	3	6	
1173	1,333	1	1	+	+	+	1113

Таблиця 2. Режими спікання та відпалу сплаву $Nd_{15,2}Fe_{75,5-x}C_xV_{6,6}Cu_{1,57}Ti_{1,38}$.

Температура спікання, К	Ступінь вакууму, МПа	Час спікання, год	Температура відпалу, К	Час відпалу, год	Початковий тиск, МПа			Температура спікання, К	Час спікання, год	Початковий тиск, 12 МПа
					0,5	3	9,5			
1323	1,333	1	823	0,5	+	+	+	1013	1,5	+



Технологічна схема виготовлення магнітопластів:

- 1) подрібнення спечених компактів в алундовій ступці;
- 2) змішування подрібнених компактів з порошком фенол-формальдегідної смоли у співвідношенні сплав: смола = 9:1 (% вагових);
- 3) компактування суміші під тиском 5 МПа з одночасним нагріванням;
- 4) витримка компакту протягом 600 с при температурі 383 К під тиском 5 МПа та контроль властивостей (метод гістерезиметра).

Методика розрахунку додаткового тиску. Отже, матеріал прес-форми та болтів підбирався таким чином, щоб за рахунок різниці у коефіцієнтах лінійного розширення створити додатковий тиск на матеріал компакту, який викликаний зміною температури. На рис. 2 представлено залежність температурного коефіцієнту лінійного розширення фази $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ для параметрів a і c .

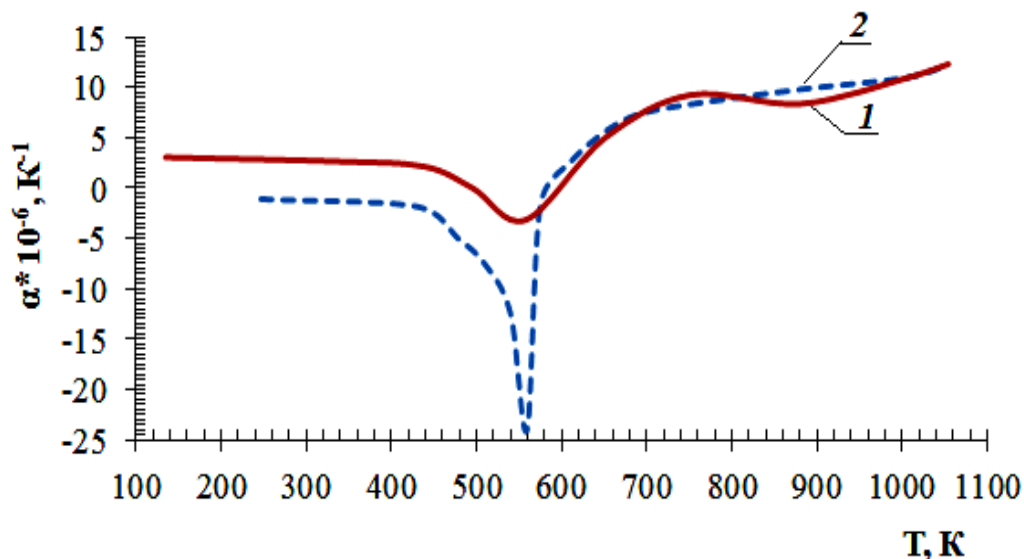


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнту лінійного розширення α від температури для фази $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$: 1 – для параметра a ; 2 – для параметра c .

Розрахунок додаткового термічного тиску виконували згідно методу кінцевих елементів у програмі ANSYS. У табл. 3 подано значення модуля Юнга та коефіцієнту лінійного розширення, які використовували для розрахунків [13]. Також для розрахунків було використано дані графіків (див. рис. 4). При розрахунках вважалось, що для матеріалу компакту модуль Юнга залишається майже незмінним, а для матеріалів прес-форми і болтів змінюється.

Механічне напруження залежить від деформацій таким чином[6,14]:

$$\{\sigma\} = [E]\{\varepsilon^{\text{el}}\}, \quad (1)$$

де $\{\sigma\} = \{\sigma_x \sigma_y \sigma_z \sigma_{xy} \sigma_{yz} \sigma_{xz}\}^T$ – вектор механічного напруження;

$[E]$ – модуль Юнга, або пружна жорсткість матриці (або напружено-деформованої матриці).

Вектор пружної деформації:

$$\{\varepsilon^{\text{el}}\} = \{\varepsilon\} - \{\varepsilon^{\text{th}}\}, \quad (2)$$

де $\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z \varepsilon_{xy} \varepsilon_{yz} \varepsilon_{xz}]^T$ – сумарний вектор деформації;

$\{\varepsilon^{\text{th}}\}$ – вектор термічної деформації.

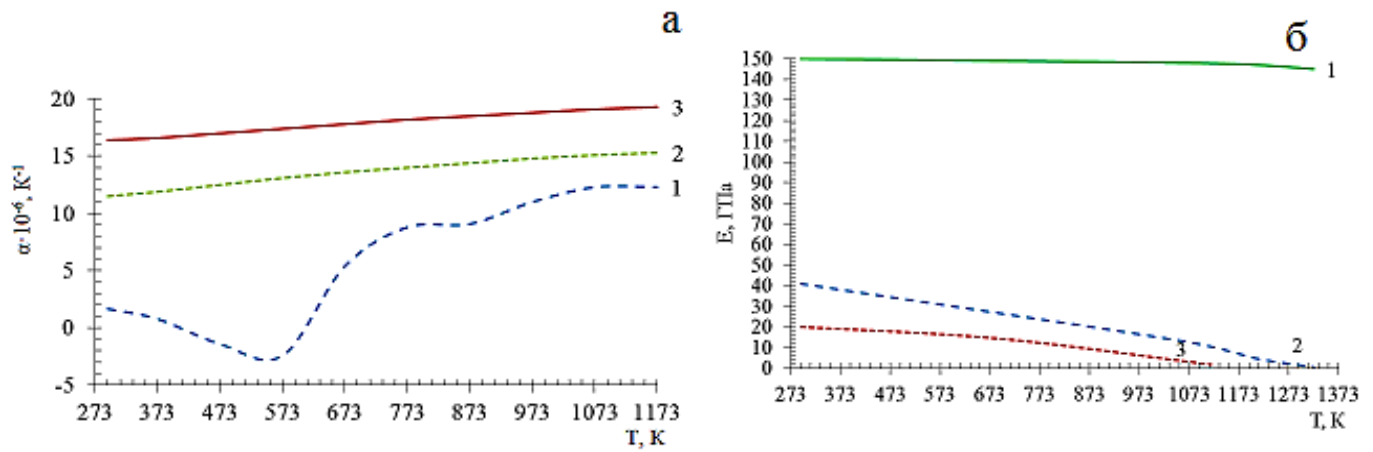
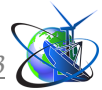


Рис. 4. Графік залежності відносної довжини (а) та модуля Юнга (б) від температури для матеріалів болтів та прес-форми: **1** – матеріал півок Nd-Fe-B; **2** – матеріал болтів 30XГСА; **3** – матеріал прес-форми 12X18Н10Т.

Таблиця 3. Значення модуля Юнга та коефіцієнту лінійного розширення для матеріалів, які використовували для розрахунків, при T = 20 °C.

Елемент моделі	Матеріал	Модуль Юнга, ГПа	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}, K^{-1}$
Прес-форма	12X18H10T	40,9	16,4
Болти	30XГСА	20	11,5
Порошок	Nd-Fe-B	150	1,66

Рівняння для визначення основного механічного напруження:

$$\sigma_e = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (3)$$

Рівняння для деформацій:

$$\varepsilon_e = \frac{1}{2 \cdot (1 + \mu)} \cdot \sqrt{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2} \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона для пружної та термічної деформацій матеріалу.

На рис. 5 представлено залежність границі міцності, границі текучості та «термічного» тиску від температури.

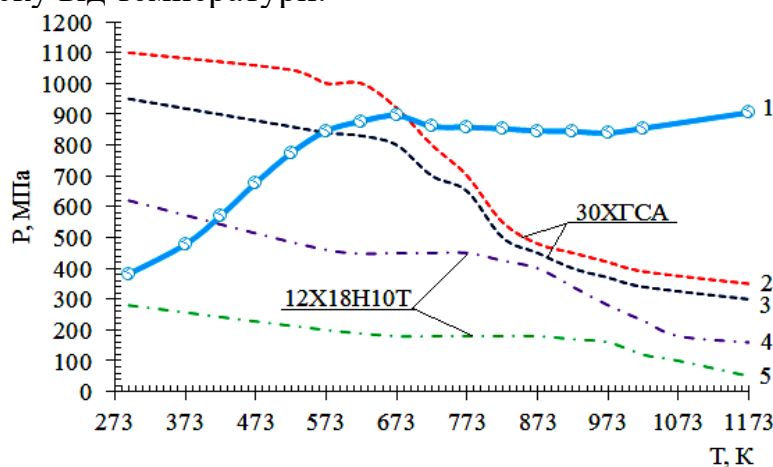


Рис. 5. Залежність границі міцності, границі текучості та термічного тиску від температури: **1** – додатковий тиск; **2** – границя міцності для болтів; **3** – границя текучості для болтів; **4** – границя міцності для прес-форми; **5** – границя текучості для прес-форми.



З рис. 5 видно, що границя текучості для матеріалу прес-форми при кімнатній температурі нижче, ніж термічний тиск при тій же самій температурі. Максимальний термічний тиск 895,8 МПа було отримано для температури 673 К. При подальшому збільшенні температури значення термічного тиску трохи знижується і залишається у межах 850...860 МПа. Це можна пояснити тим, що як для матеріалу болтів, так і для матеріалу прес-форми з підвищенням температури починається явище пластичного деформування.

На рис. 6 – залежність відносного видовження від температури.

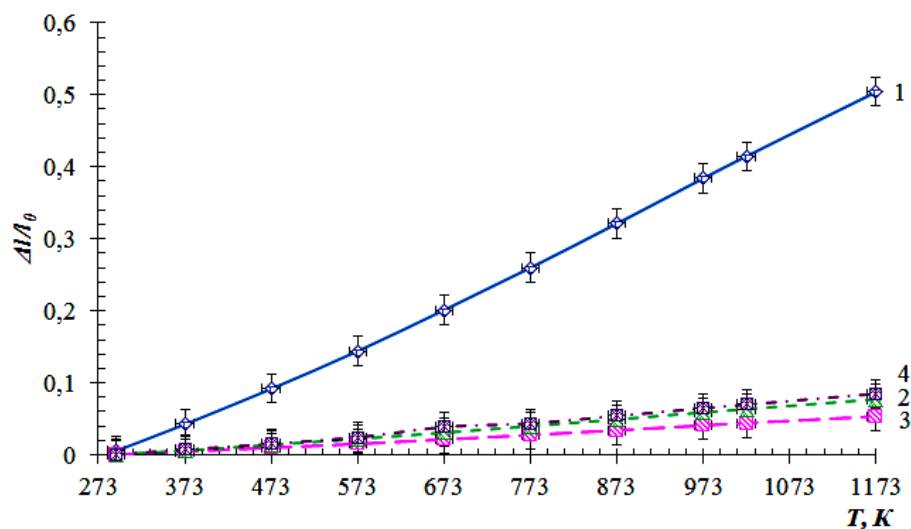


Рис. 6. Залежність відносного видовження від температури:

1 – матеріал компакту; 2 – матеріал прес-форми; 3 – матеріал болтів; 4 – середнє значення.

З рис. 6 видно, що найбільше відносне видовження, згідно розрахунків, отримано для матеріалу плівок. Найменше відносне видовження – для матеріалу болтів. Для температур 1023 К та 1173 К вони відрізняються у 4 рази. Саме за рахунок цього можна отримати додатковий зовнішній тиск на зразок у стиснутому стані у межах 850...900 МПа.

Порядок виконання роботи.

Завдання 1. Прочитати та проаналізувати матеріал, наданий в теоретичних відомостях. Написати розгорнутий план.

Завдання 2. Проаналізувати режими виготовлення постійних магнітів. Розрахувати кількість енергії, яку необхідно витратити для виготовлення постійних магнітів, та її вартість (437,64 грн/МВт*год). Для виготовлення електродів у пічці використовували вольфрамові електроди довжиною 10 см та перерізом 2x7 мм. Кількість електродів – 12, напруга на електродах – 10 кВ. Швидкість нагріву – 10К/с. Відповідь надати у Дж та кВт/год. Який з методів є більш енергетично вигідним?

Завдання 3. Розрахувати середню силу тиску на зразок з боку пуансонів прес-форми при різних температурах. Діаметр зразка 11 мм. Використовувати данні рис. 1.5. При якій температурі починаються пластичні деформації прес-форми та болтів?



Завдання 4. Використовуючи данні рис. 6 розрахувати середнє видовження зразка для різних температур. Висота зразка 5 мм.

Контрольні запитання.

1. Дати характеристику методу лиття. Якою є будова та принцип дії індукційної пічки?
2. Дати характеристику методу порошкової металургії.
3. Дати характеристику методу загартування з рідкого стану. Якою є будова та принцип дії гартувальної камери та електродугової пічки?
4. Дати характеристику методу виготовлення спечених компактів.
5. Дати характеристику методу виготовлення магнітопластів.
6. Які особливості методики розрахунку додаткового тиску.
7. Чим пружна деформація відрізняється від пластичної?
8. У чому полягає явище текучості?
9. Характеристика аморфного та кристалічного стану.
10. Якими є особливості стабільного та метастабільного станів?

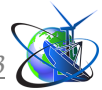
Висновки

В умовах контекстного походу до навчання фізики у вищих навчальних закладах дана теоретична лабораторна робота сприятиме формуванню знання для конкретної спеціальності, наприклад, для майбутніх ливарників – способи виготовлення постійних магнів методом лиття, для майбутніх матеріалознавців – залежність фізичних властивостей для способу виготовлення постійних майбутніх електриків – сфери використання постійних магнітів залежно від способу виготовлення та фізичних властивостей. Надалі планується створення навчально-методичного комплексу з фізики, який органічно був би пов'язаний із конкретною професійною підготовкою.

Насамкінець хотілося б подякувати моєму науковому керівникові, доктору фізико-математичних наук, професору Брехаря Григорію Павловичу за його допомогу і те натхнення, завдяки яким було виконано фундаментальне дослідження з отримання високоенергетичних постійних магнітів та з'явилася можливість впровадити отримані результати у навчальний процес.

Список використаних джерел:

1. Андреев А.М. Фізика. Лабораторні роботи з творчими завданнями: Навчальний посібник / А.М. Андреев, О.Ю. Осипов. – Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2012. – 228 с.
2. Фізика. Лабораторний практикум: навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання / Д. А. Захарчук, Л. В. Ящинський – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 240 с.
3. Мирошніченко І. С. Закалка из жидкого состояния / И.С.Мирошніченко. – М.: Металлургия, – 1982. – 168 с.
4. Брехаря Г. П. Формирование метастабильных состояний в металлических сплавах при закалке из жидкости: дис. д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07 / Брехаря Григорий Павлович. – Запорожье: ЗГУ, 1991. – 254 с.
5. Виставкіна В. В. Вплив нерівноважних умов охолодження на фазоутворення у легованих міддю магнітотвердих сплавах системи Nd-Fe-C:



автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук.: спец. 01.04.07 «Фізика твердого тіла» / В. В. Виставкіна – Дніпропетровськ, 2006. – 19 с. – укр.

6. Гуляєва Т. В. Визначення раціонального легування та режимів спікання економно-легованих швидко охолоджених сплавів Nd-Fe-B-Ti-C-Cu для підвищення магнітних характеристики: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук.: спец. 05.16.01 «Металознавство та термічна обробка металів» / Т. В. Гуляєва – Запоріжжя, 2015. – 24 с. – укр.

7. New Material for permanent magnets on base of Nd and Fe / M.Sagawa, S.Fudjimura, N Iogawa [and other] // J. Appl. Phys.–1984.– vol. 55(6). – P.2083 – 2087.

8. Nd₂Fe₁₄B-type magnet alloys/ D.Tsai, T.Chin, S.Hsu [and other] // IEEE Trans. Magn. MAG. – 1987. – vol.23. – P.3607-3611.

9. Suzuki T. Lorentz microscopy observation of domain walls in Nd-Fe-B alloy permanent magnets / T. Suzuki, K. Hiraga, M. Sagawa // Jap. J. Of Appl. Phys. – 1984. – P. 421-423.

10. Дослідження впливу міді та вуглецю на властивості постійних магнітів, виготовлених на основі стопу Fe₇₆Nd₁₆B₈ / Г.П. Брехаря, В.В. Савин, О.М. Бовда [и др.] //Металлофизика и новейшие технологии. – 2006. – т.28. – №3. – С. 383–395.

11. Брехаря Г. П. Свойства постоянных магнитов системы Nd–Fe–B, легированной Cu, Ti, C, полученных порошковым методом или спеканием пленок в условиях высокого давления / Г. П. Брехаря, Е. А. Харитонова, Т. В. Гуляева // Успехи физики металлов. – К: ИМФ. – т. 15. – 2014, с. 35–53.

12. Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т. / [Под общ. ред. Н.П. Лякишева]. – М.: Машиностроение. – Т. 2. – 1997. – 1024 с.

13. Справочник по авиационным материалам / [под. ред. А. Т. Туманова]– М: Машиностроение, 1965. – т. I. – 456 с.

14. Вплив зовнішніх тисків на структуру та магнітні властивості спечених магнітів/Г. П. Брехаря, Т. В. Гуляєва, О. А. Харитонова [та ін.] // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя: ЗНТУ. – № 2. – 2013 р. – С. 23 - 29.

15. Исследование структурно-фазовых превращений при спекании закаленных сплавов системы Nd-Fe-C / В.М.Ажажа, Г.П.Брехаря, Т. В.Демченко [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Харьков: Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (16). – 2007. – № 4. – С.155-160.

16. Васильєва О.О. Вплив термічної обробки на структуру та властивості литих магнітів Nd-Fe-C, легованих міддю / О. О. Васильєва, В. В. Виставкіна // Фізика та хімія твердого тіла. – 2003 – №3 – С. 40 – 47.

17. Брехаря Г. П.Влияние меди на свойства постоянных магнитов, изготовленных на основе сплава Fe₇₆Nd₁₆B₈ / Г. П. Брехаря, Е. А. Харитонова // Metallofizika i novейшие технологии. - 2013. - 35, № 3. - С. 367-375.

18. Гуляєва Л. В Варіативний підхід щодо виконання лабораторних робіт з



фізики в старшій школі / Л.В Гуляєва, Т.В Гуляєва // Наукові записки. Випуск 5. –Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 3. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Вінніченка, 2014. -.С. 60-66.

19. Гуляєва Л.В. Диференційовано-варіативний підхід у виконанні лабораторних робіт з фізики в старшій школі [електронний ресурс] / Л.В Гуляєва, Т.В Гуляєва // Електронний збірник наукових праць ЗОІППО. –№2(16): Матеріали V Міжнародного форуму «Особистість у єдиному освітньому просторі» Конференція 2: Освіта й особистість: нові підходи, сучасна дидактика, інноваційні технології, 2014. – 10 с. – Режим доступу:

https://virtkafedra.ucoz.ua/el_gurnal/pages/vyp161/gulaevy.pdf.

Abstract. *The article discusses the possibility of introducing the results of fundamental research in the field of materials science and magnetism into the educational process in physics in higher educational institutions in the preparation of future engineers. As an example, the theoretical laboratory work “Methods of producing permanent magnets” is given. Differences of this laboratory work from traditional ones: the structure of the worksheet has been changed - a “meta for the worksheet” and a “meta for the student” have been introduced, which is necessary so that both the worksheet and the student clearly understand why this work is being worked out and what results need to be achieved; a structural element has been introduced, such as “Inter-subject connections”, in addition to this item the connections between the physical component of a given work and special objects are shown; In addition to traditional laboratory work, students do not directly conduct the experiment themselves; On the basis of the research conducted by leading scientists in this field, analyze the results of the experiment, thus forming subject and interdisciplinary competence.*

As a result, this theoretical laboratory work will contribute to the formation of knowledge for a specific specialty, for example, for future foundry workers - methods for manufacturing permanent magnets using the casting method, for future materials scientists - the dependence of physical properties on the method of manufacturing permanent magnets, for future electricians - the area of using permanent magnets depending on the manufacturing method and physical properties. In the future, it is planned to create an educational and methodological complex in physics, which would be organically connected with specific physics training.

Keywords: *fundamental research, permanent magnet, theoretical laboratory work, traditional laboratory work*

Стаття відправлена: 22.06.2024 г.

© Татарчук Т.В., Бондарь Н.П., Засовенко А. В.